

DEVELOPPEMENT ET UTILISATION PRATIQUE DU SYSTEME DE SURVEILLANCE DE LA SURFACE DES ROUTES EN HIVER

Nobufumi Yoshida, Yoshikazu Ueno et Takeo Suzuki
Section Technique, Soda Ash & Inorganic Chemicals Manufacturing Dept.
Tokuyama Corp.

1-1, Mikage-cho, Tokuyama-city, Yamaguchi, 745-8648, Japon
TEL; 0834-22-2917 /FAX; 0834-31-0703
E-mail; n-yoshida@tokuyama.co.jp

1. Résumé

Récemment, le fait que les agents dégivrants/anti-gel répandus sur les chaussées ont des conséquences sur l'environnement est devenu un problème. Et il est demandé que l'on réduise la quantité d'agents utilisés pour l'entretien des routes en hiver. Mais comme l'état des chaussées est variable en hiver, il est très difficile de répandre la quantité d'agents qui convient en fonction de l'état de la chaussée en temps utile. Pour résoudre ce problème, notre société, qui fabrique des agents dégivrants/anti-gel, essaie depuis 1989 de concevoir et de mettre au point un système de surveillance des chaussées en hiver.

Les caractéristiques de notre système sont les suivantes :

- [1] Les données sur l'état de la chaussée, comme la température atmosphérique, la température de la chaussée, les chutes de neige et des images de la route s'affichent en temps réel sur un écran d'ordinateur.
- [2] Avec un capteur enterré sous la chaussée, nous pouvons relever les variations de concentration des agents dégivrants/anti-gel (c.-à-d. la température de congélation de la chaussée).
- [3] Sur l'image affichée, nous pouvons connaître à tout moment les variations de l'état de la chaussée.
- [4] Nous pouvons améliorer la fiabilité des prévisions météorologiques en reliant notre système à un autre système de prévision météorologique

Les systèmes que nous avons installés dans la ville de Morioka entre 1998 et 2000 ont permis de démontrer les effets suivants :

- [1] A partir des diverses données de notre système, il a été possible d'optimiser la quantité des agents répandus et le temps d'épandage ; ceci a permis de réduire la quantité des agents répandus.
- [2] En installant des systèmes de surveillance des chaussées en hiver à l'Hôtel de Ville et dans les entreprises chargées de l'épandage et en partageant les informations sur l'état des routes, il a été possible de réaliser une bonne gestion des chaussées en hiver.
- [3] Grâce à l'utilisation de notre système, il a été possible de réduire les dépenses d'épandage des agents d'environ 20%.

2. Introduction

Au Japon la «loi relative à la poussière créée par les pneus cloutés» a été annoncée et est entrée en vigueur en 1990, et l'utilisation des pneus cloutés est désormais interdite. Depuis lors, comme l'usage des pneus non cloutés s'est répandu, les dérapages sur les routes sont devenus plus fréquents, le nombre des accidents de la circulation a augmenté et les embouteillages sont plus nombreux. (Réf.1).

Par voie de conséquence, la quantité d'agents répandue sur les routes a fortement augmenté et nous nous soucions à la fois de l'augmentation des coûts et des répercussions sur l'environnement générés par ces agents. Les autorités locales sont donc confrontées à une situation d'urgence. Elles doivent trouver le moyen de répandre les agents de déverglaçage de manière plus efficace et de réduire dans le même temps les effets néfastes pour l'environnement. Dans ces conditions, notre entreprise entend apporter une solution en proposant un épandage optimum de produits sur la base des connaissances que nous avons acquises en développant des sels de déverglaçage, et grâce à nos travaux de recherche et de développement d'un système de surveillance de la surface des routes en hiver.

En Europe et en Amérique du Nord, des systèmes d'informations météorologiques et routières ont été mis en place au niveau national à partir de la seconde moitié des années 1980 (Réf. 2) et des systèmes de gestion des routes qui utilisent ce système ont été créés. Par ailleurs, on ne se contente plus de connaître les conditions météorologiques au niveau du sol, mais de nombreux capteurs sont également enfouis sous la chaussée pour fournir des données. (Réf. 3). Les capteurs au niveau de la chaussée permettent de détecter non seulement la température de la surface de la route, mais également l'état de la surface de la chaussée et la concentration des agents restants. Ces informations sont ensuite utilisées comme données de base pour déterminer l'épandage d'agents sur la route (Réf. 4).

Au Japon, nous avons aussi tenté de mettre en place un système de gestion routière afin de veiller à la sécurité des routes en hiver (Réf. 5). Les principales informations qui alimentent ce système sont des données recueillies à partir de caméras installées sur la route, mais également des données météorologiques au niveau du sol et des données de température de la surface de la chaussée. Toutefois, pour ce qui est de la création d'un système d'informations météorologiques et routières reposant sur des capteurs de surface fournissant des informations précises sur l'état de la chaussée et sur la concentration des agents restants, le Japon est en retard par rapport à l'Europe et à l'Amérique du Nord.

Le présent rapport traite du système de surveillance de la surface de la chaussée en hiver à l'aide de capteurs enfouis

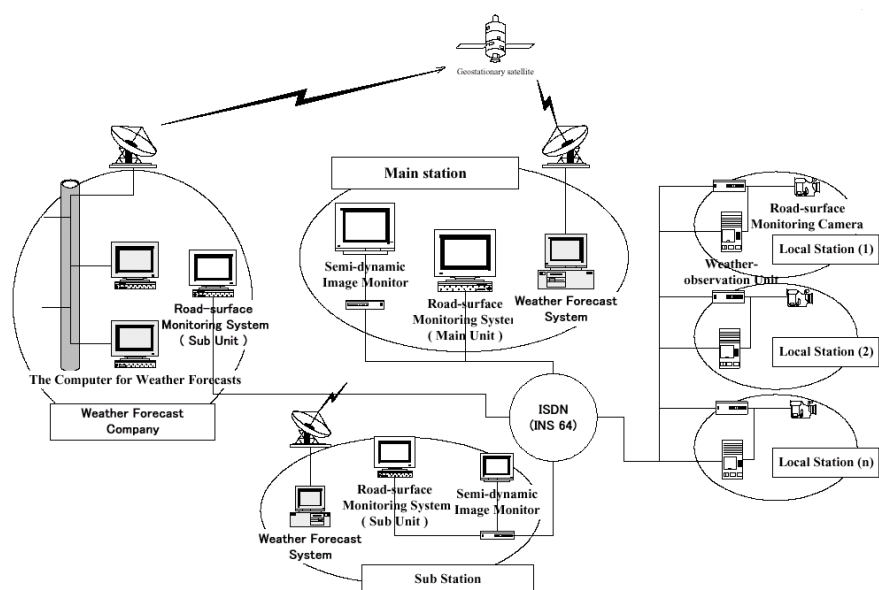


Fig.1 Configuration du système

destinés à détecter l'état de la surface de la chaussée et la concentration des agents restants, ainsi que du coût de ce système.

3. Système de surveillance de la surface de la chaussée en hiver

3.1 Configuration du système

Comme indiqué sur la figure 1, nous avons placé des stations locales en divers points de la zone de surveillance (en fonction des conditions climatiques) pour recueillir des données météorologiques routières. Les données recueillies sont alors rassemblées à la base d'observation principale chargée de gérer les données, puis envoyées à la station de base chargée du suivi des postes auxiliaires. Un exemple d'emplacement pour l'installation d'une station principale est le Service de gestion routière. Quant aux postes secondaires, ils pourraient être une entreprise d'épandage d'agents de dégivrage, une entreprise commerciale de prévisions météorologiques, etc.

3.2 Débit de transmission des données du système

Le débit de transmission des données est indiqué sur la figure 2.

Des données météorologiques sur la route sont recueillies à partir de chacun des capteurs dans la station météorologique ROSA (fabriquée par Vaisala Oyj, Finlande) installée dans la station locale. Les données transmises depuis la station ROSA sont des données numériques et des données d'état. Les données d'état sont obtenues par calcul dans la station ROSA.

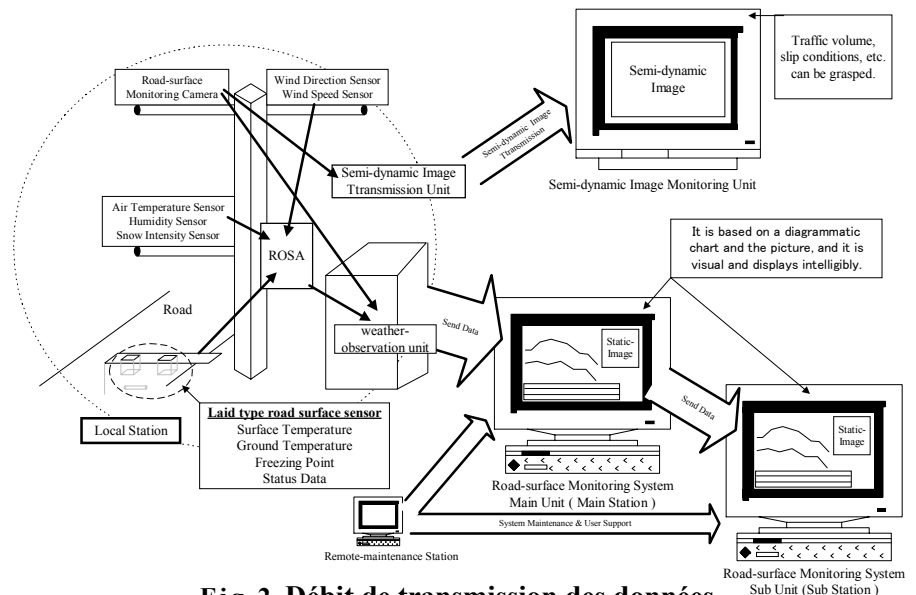


Fig. 2 Débit de transmission des données

La nature de chaque type de données est indiquée ci-dessous.

Données chiffrées

- (1) Température de l'air (2) Température de la surface de la chaussée
- (3) Température du sol (4) Chute de neige (mm/h)
- (5) Point de congélation (calculé à partir des restes d'agents sur la chaussée)
- (6) Humidité (7) Point de rosée (8) Sens du vent (9) Vitesse du vent

Données d'état

- (1) Avertissement (2) Conditions météo (3) Etat de la surface de la chaussée

Les données rassemblées à partir de la station ROSA sont transmises à l'unité d'observation météo prise en charge par notre compagnie toutes les dix minutes. Dans le même temps, nous pouvons obtenir une photographie en couleur à partir d'une caméra de surveillance de la surface de la chaussée. Cette photographie peut être affichée avec une définition de 640x480 points.

Les données recueillies par l'unité d'observation météorologique dans chaque station locale sont envoyées au poste auxiliaire.

Avec ce système, non seulement les données de la station ROSA mais aussi la photo haute résolution sont recueillies simultanément, et les données numériques, les données d'état et la photo sont affichées

sur le même écran. Cela permet d'évaluer correctement la situation en complétant chaque type de données même dans les situations difficiles. Les capteurs de la station ROSA, enterrés sous la chaussée, permettent de suivre l'état de la surface de la chaussée (gel, sécheresse, etc.) et les agents restants sur la chaussée. Ainsi, il est possible de contrôler efficacement l'épandage des agents.

En outre, comme il est possible d'afficher une image semi-dynamique par le biais de l'unité de transmission électrique d'image, ce système peut aussi fournir l'état dynamique (état d'adhérence, volume du trafic, etc.) d'un site, ce qui est normalement difficile à évaluer.

TCP/IP est un protocole de transmission des données très répandu. Ce protocole de transfert de données a adopté FTP et HTTP qui sont couramment utilisés sur Internet. Il est donc facile de se connecter à Internet. Ainsi, nous disposons d'une conception «ouverte», ce qui permet de partager sans difficulté les données provenant d'autres systèmes (autres systèmes de surveillance de la surface de la chaussée, RWIS, ITS, système de prévisions météorologiques, etc.).



Fig.3 Un exemple d'installation de station locale

3.3 Aperçu de la station locale et de l'écran du système de surveillance

La Figure 3 représente un exemple d'installation de station locale.

Par ailleurs, deux écrans de surveillance sont décrits à titre d'exemple d'écran de surveillance principal.

(1) Ecran Température de l'air (Fig.4) Cinq paramètres tels que température de l'air, chute de neige, température de surface, température souterraine et température du point de congélation sont affichés sur le graphique. Et les 3 états (avertissement, météo, état de la surface de la chaussée) sont également affichés toutes les heures en bas de l'écran. L'image statique et chaque valeur numérique de données de la durée applicable sont affichées sur le bord à l'extrême droite.

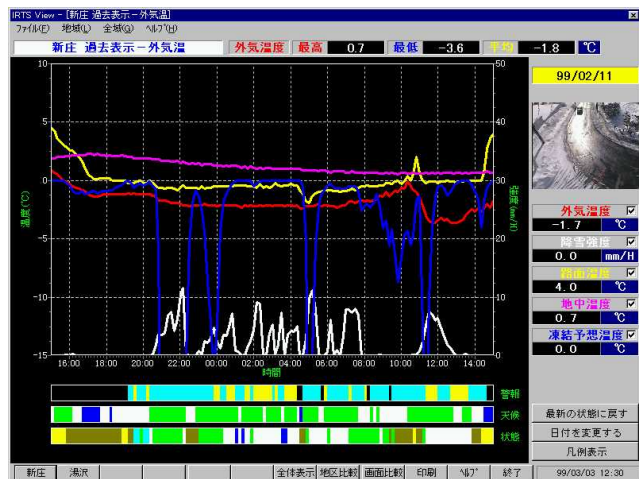


Fig.4 Ecran Température de l'air



Fig.5 Ecran d'expansion de l'image statique

(2) Ecran d'expansion de l'image statique (Fig.5) C'est l'écran qui affiche l'image agrandie et les cinq

paramètres mentionnés ci-dessus pour un moment précis.

3.4 Caractéristiques distinctives d'un système

Les éléments suivants sont caractéristiques de ce système :

- (1) Capacité à vérifier la force des agents restants sur la chaussée et l'état de la route puisque les capteurs utilisés sont de type enterré ;
- (2) Possibilité d'émettre un jugement circonstancié en associant les images fixes et les images semi-dynamiques aux données météorologiques ;
- (3) Possibilité d'espérer une amélioration de la précision des prévisions en associant ce système à un système de prévisions météorologiques;
- (4) Facilité à partager des données avec d'autres systèmes, car le protocole de communication utilisé est un protocole universel;
- (5) Facilité d'utilisation grâce à la structure simple de l'écran.

3.5 Ce que l'on peut espérer avec l'introduction de ce système

L'introduction de ce système permet d'espérer les quatre améliorations suivantes:

- (1) Sécurisation du trafic sur les routes en hiver.
- (2) Réduction des effets sur l'environnement et réduction des coûts d'épandage grâce à l'utilisation d'un produit optimisé.
- (3) Renforcement de l'efficacité de l'agent épandu.
- (4) Accumulation de données logiques et numériques sur la gestion des routes en hiver.

4. Exemple d'introduction de ce système

Actuellement, ce système fonctionne dans deux villes: la ville de Sendai (cinq capteurs installés) et la ville de Morioka (six capteurs installés). Nous nous référerons ici à la ville de Morioka pour présenter l'effet de ce système.

4.1 Gestion de la surface des routes dans la ville de Morioka

La ville de Morioka est l'emplacement indiqué sur la figure 6.

Cette ville est située pratiquement à la même latitude que Madrid ou Lisbonne. La température moyenne de l'air en janvier est d'environ -2°C , avec un maximum de 7°C environ et un minimum de -11°C environ, et les précipitations sont de l'ordre de 50 mm. La population est de 280000 personnes.

Le système d'épandage d'agent de déverglaçage a été renforcé depuis l'exercice 1994 et s'est efforcé de résoudre dans la mesure du possible le problème posé par une chaussée balayée par la brise. Le coût de l'épandage a néanmoins augmenté et il a représenté 40% du coût total de livraison en 1995. En outre, du fait de l'exigence d'utiliser des agents non chlorés avec peu d'effets sur l'environnement et la structure, nous devons prendre en compte non seulement la réduction de la quantité d'agent mais également la qualité de l'agent utilisé actuellement. Voici quelques-uns des problèmes rencontrés avant la mise en place de ce système :

- (1) La ville de Morioka devait organiser des rondes tous les matins pour connaître en détail l'état des routes. Or, en raison du temps limité, il était impossible de mener ces rondes et

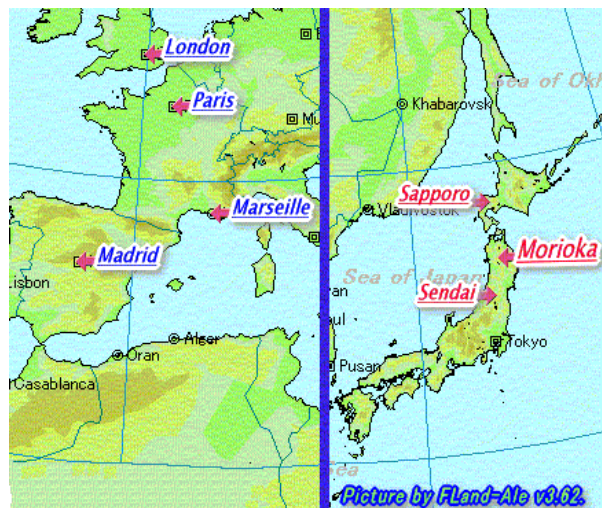


Fig.6 Morioka est l'emplacement indiqué

d'observer la situation sous tous ses aspects.

- (2) Organiser des rondes partielles pour cantonner l'observation à quelques secteurs seulement n'était pas satisfaisant. Il était donc difficile de gérer le bon état des routes, car cet état change à tout moment.
- (3) Après ces rondes matinales, le personnel de Morioka devait reprendre son rythme de travail normal après un peu de repos. Cela posait donc un problème pour la santé du personnel du bureau de Morioka. Il était devenu important de réduire la charge de travail du personnel sans perte de qualité au niveau du travail de surveillance.

Pour résoudre ces problèmes, le système actuel a été instauré comme mode de gestion des routes en hiver, avec la capacité d'associer le système de suivi de l'état de la surface des routes et le système de prévision météo.

Concrètement, ce nouveau système se présente tel qu'il est décrit ci-dessous. La région à gérer a été divisée en six zones, en fonction de leurs caractéristiques météorologiques. Chaque station locale de suivi de l'état de la surface des routes a été installée en un lieu représentatif de la zone concernée. La station principale a été installée au bureau de Morioka. Le poste auxiliaire a également été installé dans la société de départ des agents de déverglacement et dans la société de prévision météo.

L'introduction du système de surveillance de la surface des routes en hiver dans les stations locales pour la gestion d'une zone a débuté en 1998, avec comme objectif que chaque station locale en installe deux par an pour atteindre finalement un total de six.

4.2 Effet de l'introduction de ce système

4.2.1 Question de la validation des quantités

Afin de vérifier l'introduction de la validation des quantités de ce système, nous avons étudié le coût associé au désenneigement et la quantité d'agent utilisée de 1995 à 2000. Or, comme les conditions météorologiques varient chaque année et du fait de l'évolution de l'étendue des routes contrôlées (extension de la zone de désenneigement et un point nécessitant de l'agent de déverglacement/antigel), il est

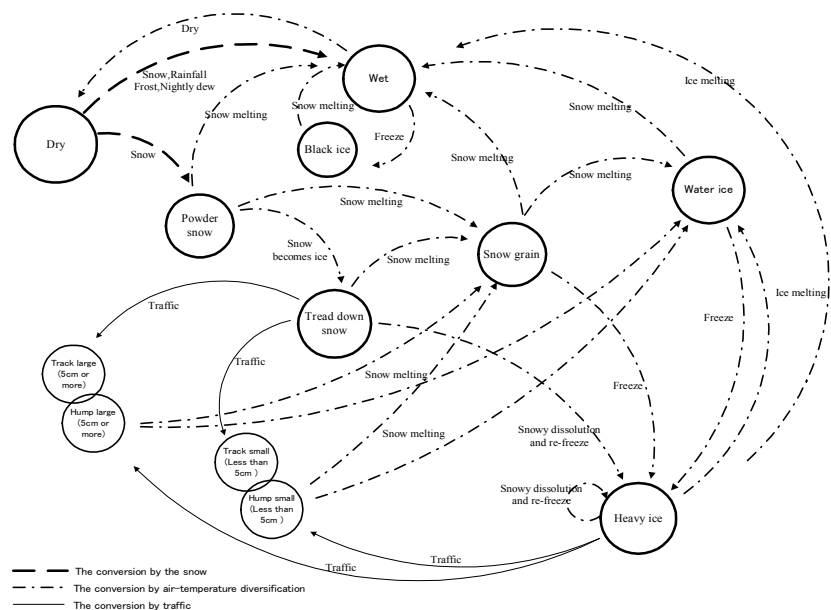


Fig.7 Figure montrant le changement de l'état de route-surface

apparu difficile de procéder directement à des comparaisons. Par conséquent, pour évaluer les effets induits par ce système en termes de quantité et de déséquilibre, il est nécessaire de corriger les données météorologiques.

4.2.2 Coefficient de variation de la surface des routes en hiver

Afin de normaliser les variations météorologiques annuelles, nous avons introduit un coefficient météorologique de la surface des routes en hiver (X-année) qui évalue les conditions météorologiques. En règle générale, pour évaluer les changements météorologiques, on a recours aux statistiques. Or, en

l'occurrence, l'instauration d'une nouvelle méthode est devenue nécessaire pour observer la surface des routes en hiver. Pour cette raison, nous référant à la classification des surfaces de route (Réf. 6), nous avons mis au point un chiffre qui reflète le changement d'état de la surface de la chaussée, car nous avons besoin de savoir quelle condition météorologique influe de manière importante sur l'état de la surface des routes.

Sur le dessin de la Figure 7, l'état de la surface de la chaussée est indiqué dans le cercle. Et les pointes de flèche qui sont reliées à un cercle traduisent les changements d'état, comme l'enneigement, le dégel, le gel ou le volume du trafic. Partant de là, on comprend que les conditions de température de l'air et les conditions d'enneigement jouent un grand rôle.

Dans le même temps, nous nous sommes rendus compte que l'alternance de redoux et de gel tend à rendre la chaussée dangereuse.

Aussi avons-nous évalué les trois conditions météorologiques suivantes qui affectent la surface de la chaussée en hiver :

- (1) **Température de l'air** : calcul du nombre de jours qu'une chaussée peut geler.
- (2) **Enneigement** : calcul des chutes de neige et de la neige accumulée. L'enneigement fait partie des critères de gestion des routes de Morioka.
- (3) **Etat de la chaussée** : état de la chaussée en fonction de la température de l'air, de l'enneigement et de l'heure.

La référence pour l'évaluation de chaque état météorologique (température de l'air, enneigement et surface de la chaussée) est indiquée dans le tableau 1A partir des données météorologiques extraites des données d'une période de gestion (du 1^{er} décembre au 31 mars de l'année suivante), nous avons choisi parmi les données mensuelles des Observatoires météorologiques locaux de Morioka avec de nombreux emprunts à une base de données.

Nous avons comparé les données météorologiques quotidiennes à chaque état théorique, attribuant un 1 si elles concordent, un 0 dans le cas contraire, puis nous avons fait le total pour chaque état. De plus, la répartition de l'agrégation a

été évaluée et calculée entre deux états. Une équation mathématique est présentée ci-dessous. Cette équation renvoie à l'Indice hivernal danois (Réf. 7).

Table.1 Niveau d'évaluation de chaque temps condition

Elément	Conditions
Xtemp	a Ave.-temperature est en-dessous de zéro.
	b La haute température est en-dessous de zéro.
	c Bas-temperature est en-dessous de zéro
Xneige	a Il y avait assurance de neige.
	b Il y avait 5 centimètres ou plus d'assurance de neige.
	c Il y avait 10 centimètres ou plus d'assurance de neige.
	d La neige s'était trouvée.
Xroute	a La précipitation a eu à basse température en-dessous de zéro.
	b L'assurance de neige a eu 5 centimètres ou plus de haute température en-dessous de zéro.
	c L'assurance de neige a eu la haute température en-dessous de zéro.
	d L'assurance de neige a eu la haute température en-dessous de zéro. Elle a continué le jour 2.
	e L'assurance de neige a eu la haute température en-dessous de zéro. Elle a continué le jour 3.
	f L'assurance de neige a eu la haute température en-dessous de zéro. Elle a continué le jour 4.
	g L'assurance de neige a eu la haute température en-dessous de zéro. Elle a continué le jour 5.

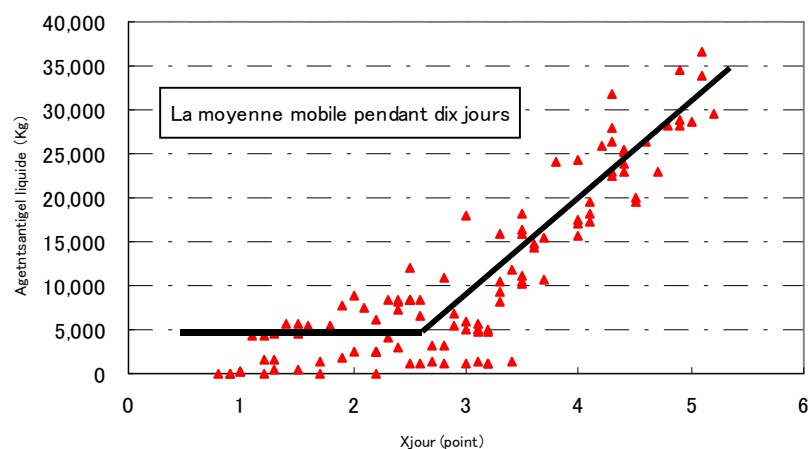


Fig.8 Le niveau d'évaluation de chaque temps condition

$$X_{\text{année}} = \sum_{\text{Décembre}}^{\text{Mars}} X_{\text{jour}}$$

$$X_{\text{jour}} = \sum_a^c X_{\text{temp}} + \sum_a^d X_{\text{neige}} + \sum_a^g X_{\text{route}} \quad [X_{\text{jour}} \text{ va de } 0 \text{ à } 14]$$

Nous avons réalisé un graphique de corrélation entre la quantité journalière d'agent de déverglaçage/antigel et Xjour en 1998 afin de contrôler la corrélation entre le coefficient vérifié et la quantité d'agent répandue sur **Table.2 Xannée et VP de ville de Morioka de 1993 à 2000**

la chaussée (Fig.8).

En ce qui concerne ce graphique, les valeurs Xjour 1 à 3 sont inchangées. Cela s'explique par l'influence exercée par la valeur des conditions de température de l'air (Xtemp). Lorsque Xjour atteint trois ou davantage, on constate que le rapport entre Xjour et l'inaptitude des agents se change en rapport proportionnel.

Année	Xannée				VP	L'envergure de route du total de commande
	Xtemp	Xneige	Xroute	Total		
1993	185	115	46	346	0.928	
1994	188	132	60	380	1.019	
1995	189	153	65	407	1.092	352
1996	174	100	46	320	0.858	396
1997	183	126	71	380	1.019	426
1998	187	110	54	351	0.942	426
1999	176	112	44	332	0.891	422
2000	219	153	94	466	1.250	426
Ave.	183	121	55	373	1.000	408

Sur la base de cette vérification, il est clair qu'il existe une corrélation entre Xjour et la quantité d'agents répandue sur la chaussée, et on peut considérer Xjour comme une valeur qui décale un pic météorologique de la gestion des routes en hiver. Et dans ce cas, il faut utiliser le pourcentage de variation (PV) qui indique l'écart par rapport à la moyenne annuelle.

$$PV = X_{\text{année}} / \overline{X_{\text{année}}}$$

Les valeurs WRSWCV et PV de 1993 à 2000 pour la ville de Morioka, qui ont été calculées par la méthode mentionnée ci-dessus, sont indiquées dans le tableau 2. Par ailleurs, la gestion des routes en hiver (partie épandage des agents de déverglaçage) pour chaque année est également indiquée globalement.

4.2.3 Résultat de l'évaluation

Le coût de livraison des agents de déverglaçage et la quantité d'agents utilisée sont évalués de manière chiffrée grâce à ce système. L'évaluation a été menée grâce à une méthode qui passe en revue le déséquilibre pour chaque année. De plus, comme le prix des agents fluctue d'une année sur l'autre, la révision du coût des agents a été effectuée sur la base de l'exercice 1998.

Le calcul des moyennes arithmétiques est réalisé de la manière suivante :

(1) Coût des agents de déverglaçage =

$$\text{Coût d'épandage des agents} / \text{partie épandage} / PV$$

(Dépense d'épandage des agents =

$$\text{Valeur corrigée du tarif des agents})$$

(2) Quantité d'agents utilisée =

$$\text{Volume de tous les agents utilisés} / \text{partie épandage} / PV$$

Le résultat de l'évaluation de l'estimation de la quantité de l'effet de l'introduction est indiqué sur les figures 9 et 10.

La Figure 9 montre l'évolution du coût d'épandage des agents. On constate une baisse des coûts de

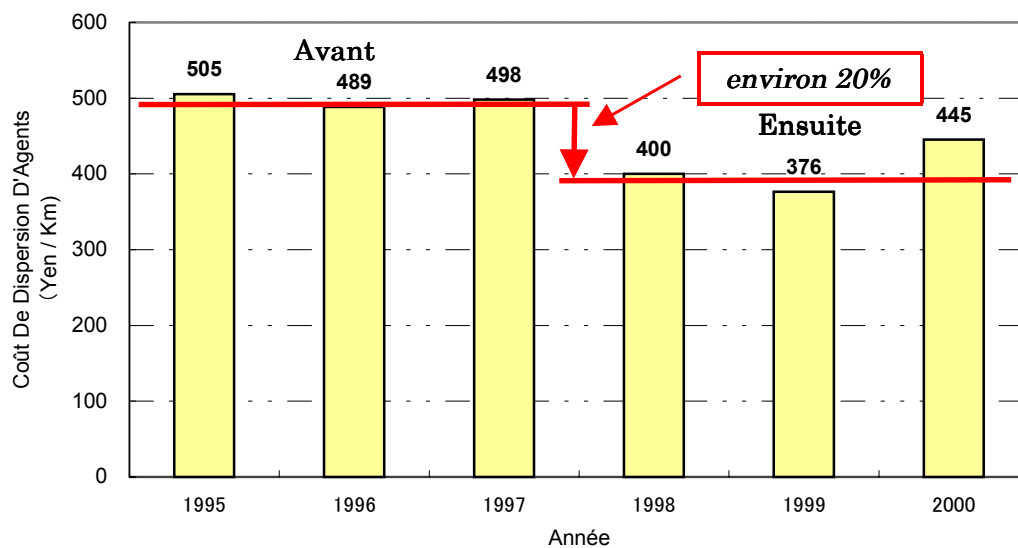


Fig.9 Le passage de quantité du coût de dispersion d'agents

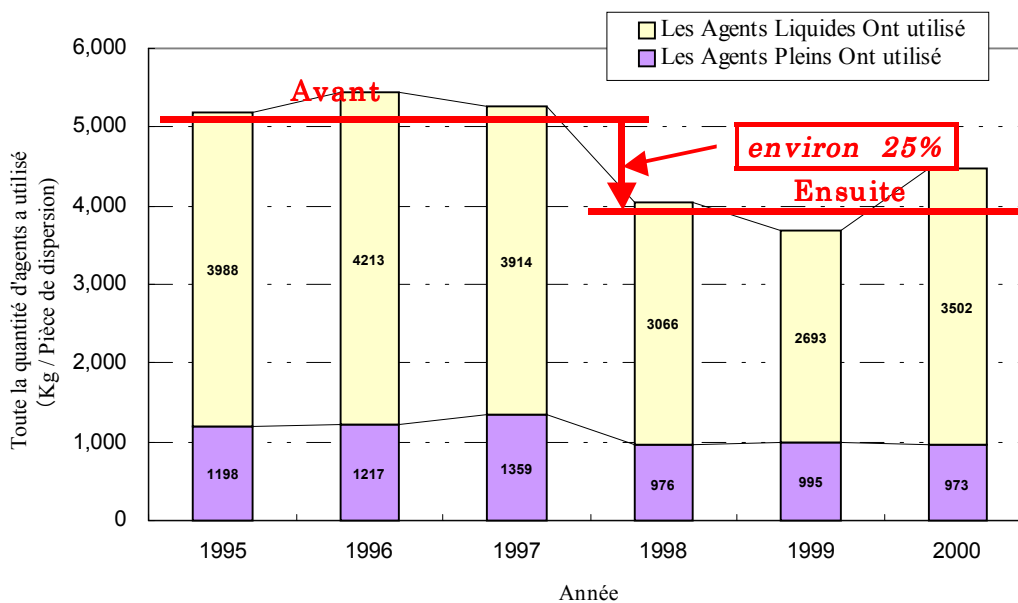


Fig.10 Le passage de quantité des agents utilisés

l'ordre de 20% pour la période 1998-2000 par rapport à la période 1995-1997, période à laquelle le système n'était pas encore installé. Par ailleurs, la figure 10 montre l'évolution de la quantité d'agents utilisée. On observe une réduction de 25% de la quantité d'agents de déverglacement après l'instauration du système.

4.2.4 Autres effets

Nous tenons à mentionner ici d'autres effets résultant de l'introduction de ce système, en plus du coût d'épandage et de la quantité d'agents utilisée:

- (1) Plus grande efficacité du système de déneigement ;
- (2) Baisse des dépenses, telles que livraison et paiement des heures supplémentaires ;
- (3) Avec l'accumulation de l'expérience, on s'attend à une amélioration supplémentaire de la gestion des routes en hiver.

5. Conclusion

Ce système s'est révélé très positif, permettant une diminution de 20 % des coûts d'épandage et de 25% de la quantité d'agents utilisée dans la ville de Morioka. Les répercussions des agents sur l'environnement ont également été réduites. Par ailleurs, nous avons aussi obtenu d'excellents résultats en matière de coût pour la gestion du travail du bureau de Morioka et au niveau du personnel chargé de la gestion des routes.

Désormais, pendant que notre compagnie améliore la précision dans la gestion des routes grâce à une coopération entre le mappage thermique et ce système basé sur le savoir-faire qui découle du développement du système lui-même, nous voulons développer de nouveaux agents en tenant compte des effets sur l'environnement.

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes (de Morioka, de Sendai, de Sapporo, etc.) qui ont contribué aux recherches sur ce système, à son développement, à son fonctionnement et à l'analyse des données.

Référence

- (1) **The scheme of the winter road management policy in Japan**
1998 10th PIARC International Winter Road Congress technical advice sentence
January, 1999 Yuki center (Japan)
- (2) **It is based on a literature - The overseas cure against a snow ice**
The overseas cure against a snow ice
(10th PIARC International Weather Road Congress technical advice sentence)
July 1998 Yuki center (Japan)
- Nobuhiro Yamashita
- (3) **Field Trial of Automatic Road Condition Detection**
10th SIRWEC International Weather Road Congress technical advice sentence
August, 2000 Yuki center (Japan)
- Haavisto / Haavasoja / Turunen / Nylander / Pilli-Sihvola / Toivonen (Vaisala Oyj)
- (4) **A observation of the freezing point of the saline matter of a road**
1996 International Weather Road Congress technical advice sentence
October, 1996 Yuki center (Japan)
- Markus Turunen (Vaisala Oyj)
- (5) **Snow and Ice Control on the Expressway Systems in Japan**
-Maintaining the Flow of vehicle Traffic in the Winter Season-
The overseas cure against a snow ice
(10th PIARC International Weather Road Congress technical advice sentence)
July 1998 Yuki center (Japan)
- Japan Highway Public Company
- (6) **A Road-surface sorting, 94 / 95 Winter Road-surface Conditions**
The snow ice of Hokkaido, June, 1995
- Yasuhiko Kajiya
- (7) **Danish Winter Index**
1998 9th SIRWEC International Weather Road Congress technical advice sentence
January 1999 Yuki center (Japan)
- J.Sand Kirk [Danish Road Directorate (DENMARK)]